УДК 621.785.533:621.762

М.С.СТЕПАНОВ

СТРУКТУРА И ФАЗОВЫЙ СОСТАВ ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ ЛЕГИРОВАННЫХ ПОРОШКОВЫХ СТАЛЕЙ ПРИ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОМ ДИФФУЗИОННОМ НАСЫЩЕНИИ АЗОТОМ И УГЛЕРОДОМ

Представлены результаты исследования структуры и фазового состава поверхностного слоя, образующегося в порошковых сталях на основе железа, подвергнутых низкотемпературному диффузионному насыщению азотом и углеродом. Установлена зависимость строения диффузионного слоя от содержания легирующих элементов и продолжительности процесса обработки. Разработана схема формирования структуры и фазового состава порошковых материалов после диффузионного насыщения.
Ключевые слова: *порошковые стали, химико-термическая обработка, диффузионные процессы, структурно-фазовый состав.*

Введение. Применение методов порошковой металлургии открывает широкие возможности для изготовления обширного класса деталей как антифрикционного, так и конструкционного назначения. В то же время расширение областей применения порошковых изделий и повышение их надежности и долговечности обусловливают необходимость повышения механических характеристик как основного фактора, определяющего эксплуатационные свойства порошковых изделий [1]. Для достижения этой цели перспективно применение методов поверхностного упрочения материалов и, таким образом, создание на их поверхности слоя с повышенными физико-механическими характеристиками [2]. Эффективным методом поверхностного упрочнения является химико-термическая обработка (ХТО), которая позволяет оказывать контролируемое воздействие на структурно-фазовый состав металлических изделий с целью достижения требуемых эксплуатационных характеристик. Однако процессы ХТО порошковых сталей изучены значительно менее подробно, чем компактных, что в целом ряде случаев затрудняет применение поверхностной упрочняющей обработки из-за трудностей выбора режимов насыщения и прогнозирования свойств обрабатываемых материалов.

Постановка задачи. В проведенных исследованиях ставилась задача изучения структуры и фазового состава порошковых сталей различного химического состава, подвергнутых низкотемпературному диффузионному насыщению азотом и углеродом.

Методы исследований. Диффузионному упрочнению подвергали образцы как из спеченного железа, так и композиций, легированных углеродом (до 1%) и медью (до 5%). Величина частиц исходного порошка железа находилась в интервале 80-240 мкм. Пористость образцов составляла 12-21%, средний диаметр пор 10-50 мкм. ХТО проводилась при температу-

ре 500-650 °С в течение 0,5-2 часов. Для изучения результатов обработки применяли методы металлографического, химического, рентгеноструктурного и микрорентгеноспектрального анализа. Диффузионное насыщение проводилось в атмосфере продуктов пиролиза жидкого карбюризатора на основе карбамида. Для обеспечения равномерной подачи карбюризатора в печь использовалось специально разработанное дозирующее устройство [3].

Результаты экспериментов и их обсуждение. При ХТО спечённого железа в диффузионном слое наблюдается α-твёрдый раствор азота, нитридная фаза γ' в виде игл, расположенных в объёме ферритных зёрен, ε-фаза в виде отдельных включений, перлит (рис.1). На поверхности образцов находится слой карбонитридной фазы $Fe_3(NC)$ толщиной 2–3 мкм, в поверхностных порах – Fe_3O_4. Такой фазовый состав объясняется тем, что при диффузионном насыщении спеченного железа атомы азота, адсорбируемые на поверхности поровых каналов, интенсивно диффундируют в глубь зерен материала, вследствие чего концентрация азота на поверхности пор не достигает предельной растворимости его в α-железе при температуре обработки, и поэтому в объеме зерен материала наблюдается γ'-фаза, образовавшаяся вследствие уменьшения растворимости азота в процессе охлаждения, а также отмечается отсутствие нитридных фаз на поверхности пор. Повышение пористости в указанном интервале способствует увеличению количества γ'-фазы вследствие большего насыщения азотом в процессе обработки. При увеличении в указанном интервале размеров частиц исходного порошка железа и, соответственно, размеров пор фазовый состав диффузионного слоя не изменяется, а интенсивность диффузии азота при этом возрастает. Увеличение продолжительности процесса насыщения приводит к возрастанию толщины как всего диффузионного слоя, так и поверхностной нитридной фазы, при этом наблюдается изменение соотношения количества образующихся нитридных фаз: количество высокоазотистой фазы растет, а γ'-фазы уменьшается. Так, в структуре материала, подвергавшегося обработке в течение более 2 часов, содержание высокоазотистой фазы является преобладающим.

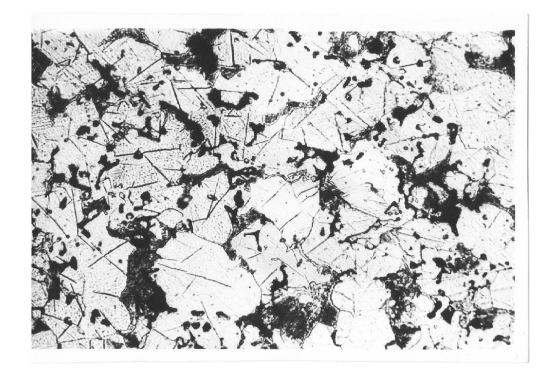


Рис. 1. Микроструктура диффузионного слоя спеченного железа после ХТО; t = 560 °С; τ = 30 мин (азотистый феррит, нитридные γ'-фаза в объеме зерен и ε-фаза в виде отдельных включений, перлит), х400

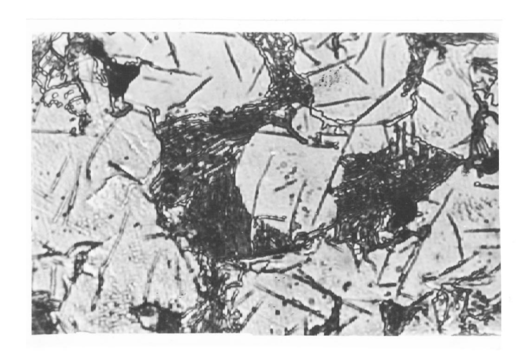


Рис. 2. Микроструктура диффузионного слоя ПК40 после ХТО, t = 560 °С, τ = 30 мин (азотистый феррит, нитридные γ'-фаза в объеме ферритных зерен, ε-фаза в виде отдельных включений вытянутой формы, перлит), х1000

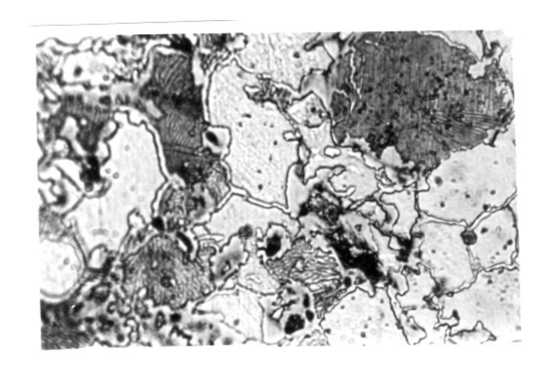


Рис. 3. Микроструктура диффузионного слоя ПК40 после ХТО, t = 560 °С, τ = 120 мин (азотистый феррит, ε-фаза в виде развитой сетки), х1000

Сравнительное изучение диффузионного слоя спечённого железа и материала ПК40 показывает, что в последнем диффузионное насыщение протекает менее интенсивно, вследствие чего содержание азота в диффузионном слое меньше, чем в спеченном железе. В результате меньшей насыщенности ферритных зерен азотом при температуре обработки в их объеме образуется несколько меньшее количество γ'-фазы, в то время как количество оксида железа практически одинаково (рис.2). Повышение продолжительности процесса диффузионного насыщения, как и в спеченном железе, приводит к преобладанию высокоазотистой фазы в структуре материала (рис.3), в то же время меньшая интенсивность протекания процесса диффузии азота приводит к повышению его концентрации на поверхности пор; при этом происходит частичное «зарастание» пор, наблюдаемое вследствие образования нитридной фазы на их поверхности. Пористость материала способствует интенсификации диффузионных процессов [4, 5], однако с увеличением содержания углерода снижается количество γ'-фазы. Это объясняется влиянием цементита эвтектоида на объёмную

диффузию азота. Указанное обстоятельство приводит к тому, что микротвёрдость феррита при диффузионном насыщении азотом увеличивается в 1,8-2,0 раза, а перлита – в 1,1 – 1,2 раза.

В структуре диффузионного слоя порошкового материала ПК80 содержится значительно меньшее количество γ'- и ε-фаз по сравнению с материалом ПК40, что объясняется усиливающимся влиянием цементита, способствующего меньшей интенсивности протекания процесса диффузии азота и, таким образом, меньшей его концентрации в поверхностном слое. Следует отметить, что количество γ'-фазы в изучаемом диапазоне пористости при её возрастании несколько увеличивается, однако увеличения микротвёрдости структурных составляющих практически не наблюдается. Увеличение продолжительности процесса обработки приводит к изменениям в расположении нитридных фаз: если на начальной стадии насыщения ε-фаза образуется в основном около пор и в незначительном количестве по границам ферритных зерен (рис. 4), то в дальнейшем наблюдается развитие нитридных фаз по границам ферритных и перлитных зерен и, в особенности, на поверхности пор (рис. 5).

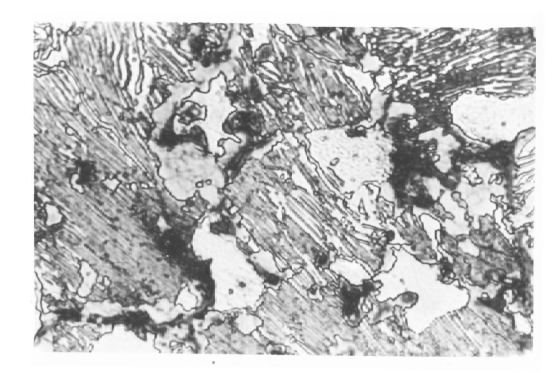


Рис.4. Микроструктура диффузионного слоя ПК80 после ХТО, t = 560 °С, τ = 30 мин, х1000

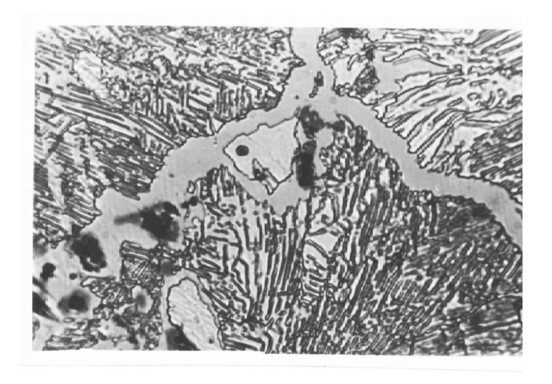


Рис.5. Микроструктура диффузионного слоя ПК80 после ХТО, t = 560 °С, τ = 120 мин, х1000

В медьсодержащих материалах в отличие от железных и железоуглеродистых наблюдается меньшее присутствие γ'-фазы в объёме ферритных зёрен, в то же время при повышении содержания меди отмечается интенсивное образование нитридных фаз на поверхности пор. Рентгеноструктурным анализом установлено, что при этом количество γ'-фазы существенно увеличивается. Если при диффузионном насыщении спечённого железа атомы азота, адсорбируемые на поверхности поровых каналов, интен-
сивно диффундируют в глубь зёрен, вследствие чего концентрация азота на поверхности пор не достигает предельной растворимости его в α -железе при температуре обработки и поэтому в объёме зёрен упрочнённого материала наблюдается γ'-фаза, то у медьсодержащих материалов наличие твёрдого раствора меди в феррите способствует значительному снижению интенсивности диффузии азота в объёме ферритных зёрен, и в результате образуется структура упрочнённого материала, характеризуемая наличием нитридной фазы на поверхности пор при малом её количестве в объёме зёрен материала. Увеличение пористости образцов способствует повышению содержания γ'-фазы в объёме зёрен, однако её количество всё же значительно меньше, чем при обработке железных материалов и сравнимо с содержанием γ'-фазы в железоуглеродистых материалах. Увеличение продолжительности процесса диффузионного насыщения железомедных материалов уменьшает количество нитридной γ'-фазы в структуре порошковых материалов и увеличивает количество высокоазотистой нитридной ε-фазы, образующейся непосредственно в процессе обработки. Указанная фаза располагается преимущественно на поверхности пор и по границам зёрен. Повышение содержания меди (до 5%) способствует появлению γ'-фазы в виде мелкодисперсных выделений (рис.6).

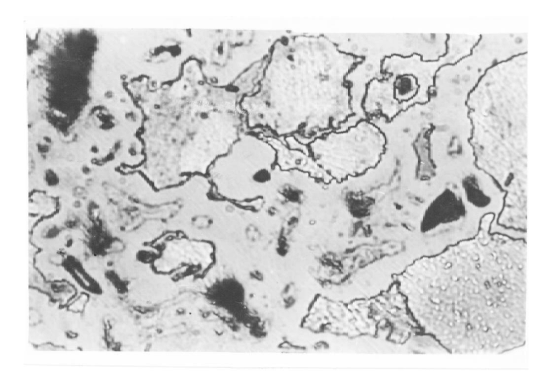


Рис. 6. Микроструктура дифференцированного слоя спеченного железа, легированного медью (5 %) после ХТО, t = 560 °С, τ = 120 мин, x1000

Изученные особенности структурообразования позволили разработать обобщающую схему формирования структуры и фазового состава по-

рошковых материалов различного химического состава, представленную на рис.7 (железо - углерод) и 8 (железо - медь).

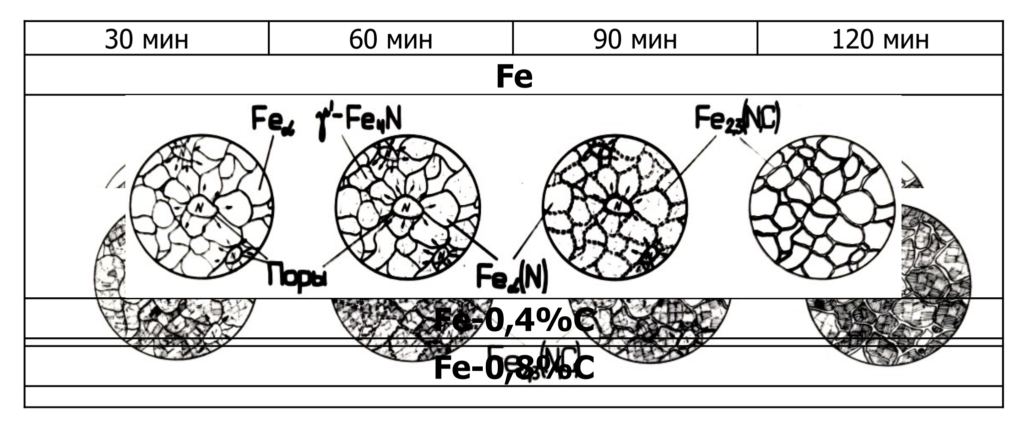


Рис.7. Схема формирования структуры диффузионного слоя железоуглеродистых материалов (показано влияние продолжительности процесса обработки)

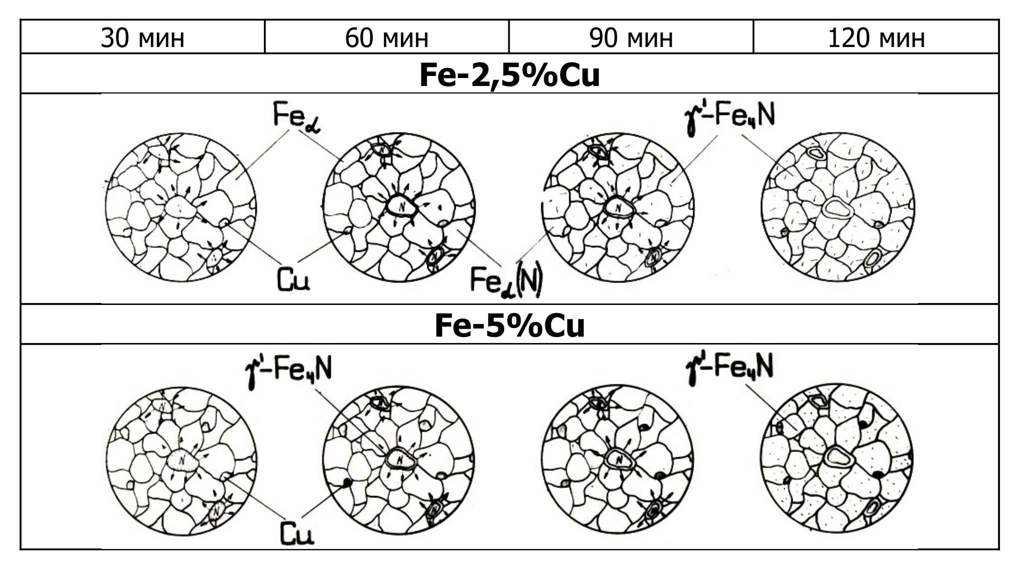


Рис.8. Схема формирования структуры диффузионного слоя железомедных материалов (показано влияние продолжительности процесса обработки)

Выводы. При диффузионном насыщении азотом и углеродом спеченного железа структура диффузионного слоя содержит α -твердый раствор азота, нитридную γ'-фазу в виде игл, расположенных в объеме ферритных зерен, γ'-фазу в виде отдельных включений, перлит. Повышение пористости материала способствует увеличению количества γ'-фазы вследствие большего насыщения азотом. Увеличение продолжительности процесса ХТО приводит к формированию высокоазотистой фазы в виде сплошного слоя на поверхности материала, а также на поверхности пор.

Увеличение содержания углерода (до 1 %) в порошковых материалах, подвергнутых низкотемпературному диффузионному насыщению азотом и углеродом, приводит к уменьшению количества γ' и γ'-фазы в структуре диффузионного слоя за счет тормозящего влияния цементита эвтектоида на процесс диффузии азота.

Легирование материалов медью приводит к формированию в диффузионном слое нитридной γ'-фазы преимущественно на поверхности пор в результате торможения диффузии азота. Повышение содержания меди (до 5%) способствует увеличению количества нитридной фазы вокруг пор и формированию ее в виде мелкодисперсных выделений в объеме зерен материала.

Библиографический список

1. Дрововозов Г.П., Савиных Л.М., Гуревич Ю.Г. Порошковые стали для конструкционных деталей. – Курганск: Изд-во КГУ, 2004. - 72с.

2. Приходько В.М., Петрова Л.Г., Чудина О.В. Металлофизические основы разработки упрочняющих технологий. - М.: Машиностроение, 2003. - 384 с.

3. Степанов М.С., Чуб С.Н., Григоров П.К. и др. Устройство для дозированной подачи жидкого карбюризатора при химико-термической обработке металлов. Патент РФ №1652374. Опубл. в Б.И., 2000, №8.

4. Степанов М.С. Аналитическое определение параметров низкотемпературной нитроцементации порошковых материалов // Термическая обработка стали (Теория, технология, техника эксперимента) / ДГТУ. – Ростов н/Д, 1998. - С.119-123.

5. Степанов М.С. Управление качеством технологического процесса низкотемпературной нитроцементации // Вестник ДГТУ. Сер. «Вопросы машиноведения и конструирования машин». – Ростов н/Д, 1999. - С.58-60.

Материал поступил в редакцию 02.11.06.

M.S. STEPANOV

THE STRUCTURE AND PHASE COMPOSITION OF A DIFFUSION LAYER OF ALLOYED PM STEEL AT LOWTEMPERATURE DIFFUSION SATURATION BY NITROGEN AND CARBON

Presented results of the diffusion processes research in alloyed Fe-base powdered steel at lowtemperature diffusion saturation by nitrogen and carbon. There was installed mechanism of the shaping structured-phase composition diffusion layer depending on contentses alloyed elements and spread of time processing.

СТЕПАНОВ Макар Степанович (р.1960), кандидат технических наук (1991), доцент (1999) кафедры «Технология технического регулирования». Окончил ДГТУ в 1982 году по специальности «Приборы точной механики».
Область научных интересов – химико-термическая обработка порошковых материалов; управление качеством обработки и изготовления материалов и изделий.
Имеет более 30 публикаций.